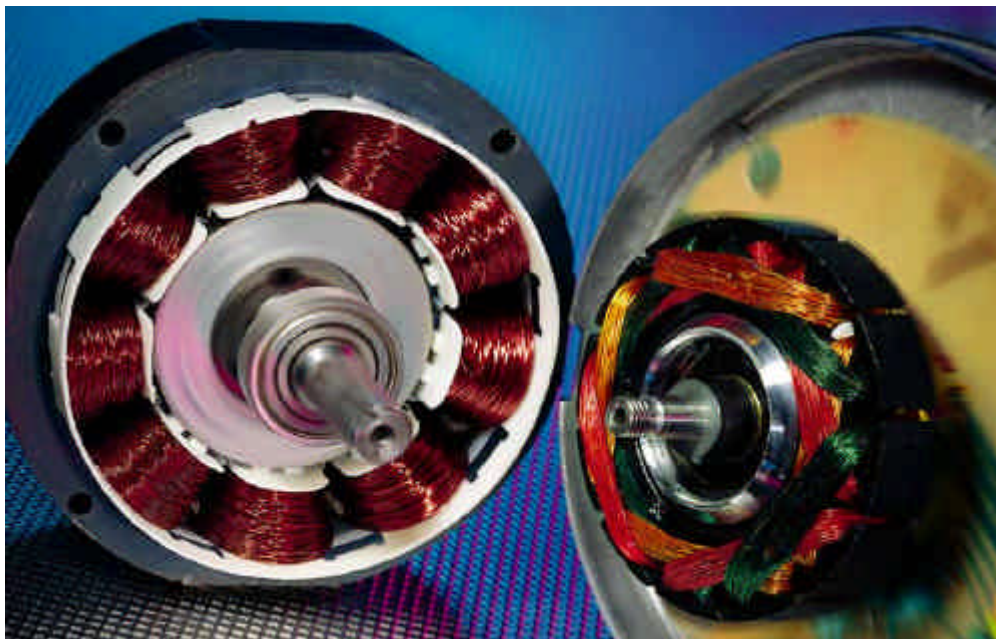




Institut Universitaire de Technologie de TOURS
Département Génie Electrique et Informatique Industrielle

ONDULEUR POUR MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE



Antoine GIRAUD
Emmanuel GODON
2^{ème} année 2000-2002
Groupe EEP2

enseignant : M. T.Lequeu

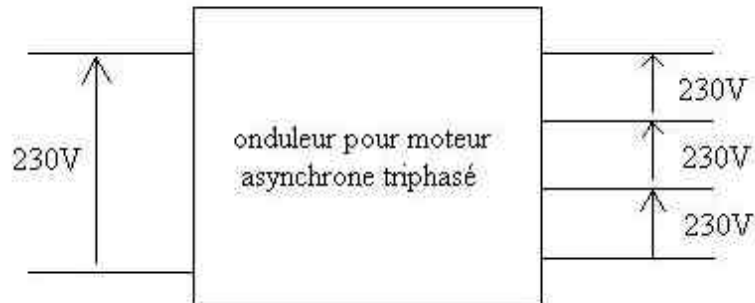
SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. Cahier des charges
2. Recherches d'information
3. Partie commande : différentes solutions
4. Partie puissance : différentes solutions
5. Choix de la solution à réaliser
6. Répartition du temps de travail
7. Annexes
 - 7.1. Liste des documentations des composants

CONCLUSION

INTRODUCTION



Au cours de ces sept séances, nous avons effectué une pré-étude concernant la réalisation d'un onduleur pour moteur asynchrone triphasé 380V d'une puissance de 3kW. Nous avons recherché un maximum d'informations sur les onduleurs pour moteur triphasé (composants, prix, disponibilité, ...) pour réaliser différentes solutions technologiques répondant au cahier des charges. Puis nous avons sélectionné l'une d'elles sur des critères de coûts, de moyens mis à notre disposition, etc...

Nous présentons, tout d'abord, un cahier des charges détaillé du montage à réaliser. Puis nous détaillons les recherches effectuées sur internet, cours, revues électroniques, data sheet, ... Dans une troisième partie, nous proposons différentes solutions technologiques du montage. Puis nous en retenons une en exposant les critères de choix. Une partie est consacrée à la répartition du temps de travail de ces 7 semaines passées et des 12 semaines à venir pour la réalisation pratique de l'onduleur (essais, révision, ...). Enfin les annexes comportent tous les documents exploités au cours de cette pré-étude.

1. CAHIER DES CHARGES

Le but de ce projet est la réalisation d'un onduleur pour moteur asynchrone triphasé. La réalisation de cet onduleur sera effectuée sur deux plaques de circuit imprimé : une plaque comportera le circuit de commande et l'autre plaque comportera le circuit de puissance. Ce circuit commandera un moteur asynchrone triphasé 380 V d'une puissance de 3 kW.

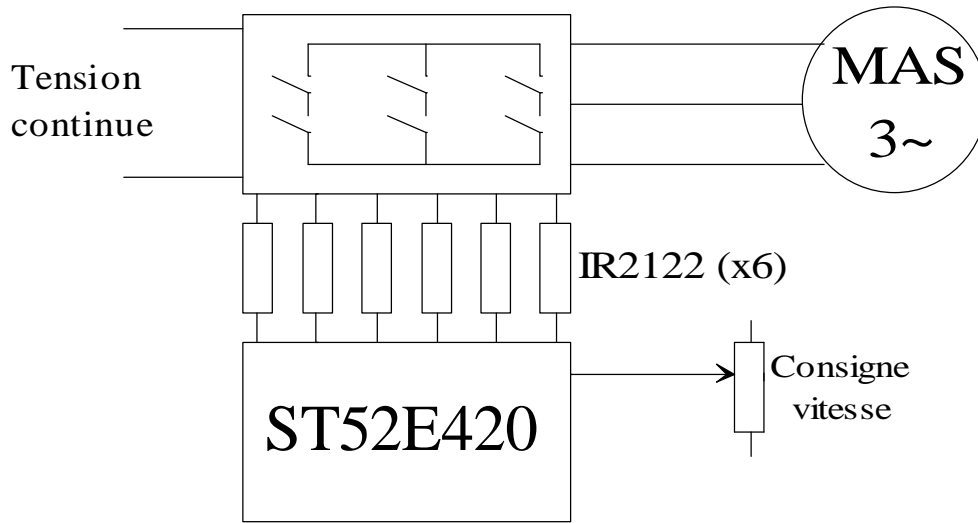
Le dispositif « moteur + onduleur » est à usage domestique. L'alimentation se fera donc à partir du réseau monophasé 230V - 50Hz. Par conséquent, il faut redresser le signal d'entrée. La fonction de redressement est faite par une structure PFC (solution recommandée), pour tirer le meilleur parti de la prise monophasée 16A. Cependant la structure PFC, qui n'a pour fonction que le redressement de la tension d'entrée mais à forte puissance, représente à elle seule un projet. Il sera donc utilisé au préalable un pont de diodes (pont de Graëtz). Ce type de redressement ne permet pas d'obtenir de grandes puissances et donc de pouvoir alimenter un moteur de 3kW. Cependant l'objectif, à atteindre dans un premier temps, est de pouvoir piloter un moteur d'une puissance de 1 kW (ce qui est possible grâce au pont de diodes).

La partie puissance de l'onduleur est composée de six interrupteurs. Chaque interrupteur comporte un transistor IGBT et une diode en parallèle. Ces interrupteurs sont commandés par la partie commande. La constitution de ces deux parties font l'objet de cette pré-étude.

La vitesse du moteur pourra être contrôlée en faisant varier la fréquence F (fréquence de rotation du moteur) tout en gardant le rapport V/F constant (et donc avoir un couple constant) en faisant varier la tension V proportionnellement à F .

Il est rappelé que la manipulation en présence de tension (notamment pour les tests du circuit au cours de sa réalisation) peut s'avérer dangereuse étant donné les puissances mises en jeu ; des précautions doivent être prises.

- Synoptique de l'onduleur triphasé :



2. RECHERCHE D'INFORMATIONS

Une grande partie des séances de la pré-étude ont été particulièrement axées sur la recherche d'informations.

Tout d'abord l'étude du chapitre 5 du cours d'électronique de puissance sur les onduleurs triphasés, nous a permis de connaître la structure générale de ce type d'onduleur : une partie puissance composée de transistors IGBT (plus couramment utilisés) et de diodes, et une partie commande qui consiste à contrôler le courant dans la charge (MLI à fréquence fixe ou fréquence de découpe fixe).

Nous avons aussi étudié des revues électroniques comme *Elektor*. L'article est paru en deux fois, en décembre 1994 puis en janvier 1995, sous le titre : *Convertisseur sinus triphasé*. Cet article montre en détail la réalisation d'un montage d'onduleur triphasé. Celui-ci intégrait la partie puissance (les six interrupteurs) dans un même composant : un circuit intégré de chez TOSHIBA (<http://www.toshiba.com>), le MP6750. Nous avons donc relevé cette « idée » d'intégrer la partie puissance dans ce composant et nous l'avons sélectionnée comme solution technologique potentielle. Un autre élément a retenu notre attention dans cet article au sujet de la partie commande de l'onduleur : l'utilisation d'un microcontrôleur pour commander les interrupteurs. A partir de cet article, nous avons donc réfléchi à des solutions utilisant un microcontrôleur pour la partie commande.

Nous avons sélectionné plusieurs microcontrôleurs : le ST92 et le ST52. Tout d'abord, le ST 52E420 que nous avons trouvé dans un document internet provenant du site de ST Microelectronics (<http://eu.st.com>). Le titre de ce document est : *Three phase AC control with ST52*. Il décrit avec précision le fonctionnement d'un moteur asynchrone et la réalisation d'un onduleur pour moteur asynchrone triphasé mettant en œuvre un microcontrôleur ST52 dans la partie commande (le même type de document est fourni avec un ST92). Un schéma du montage est donné et c'est sur celui-ci que nous nous sommes basés pour proposer une autre solution

technologique. Nous nous sommes procuré sur ce site les data sheet du ST 52 et du ST 92 pour compléter les informations autour de ces microcontrôleurs.

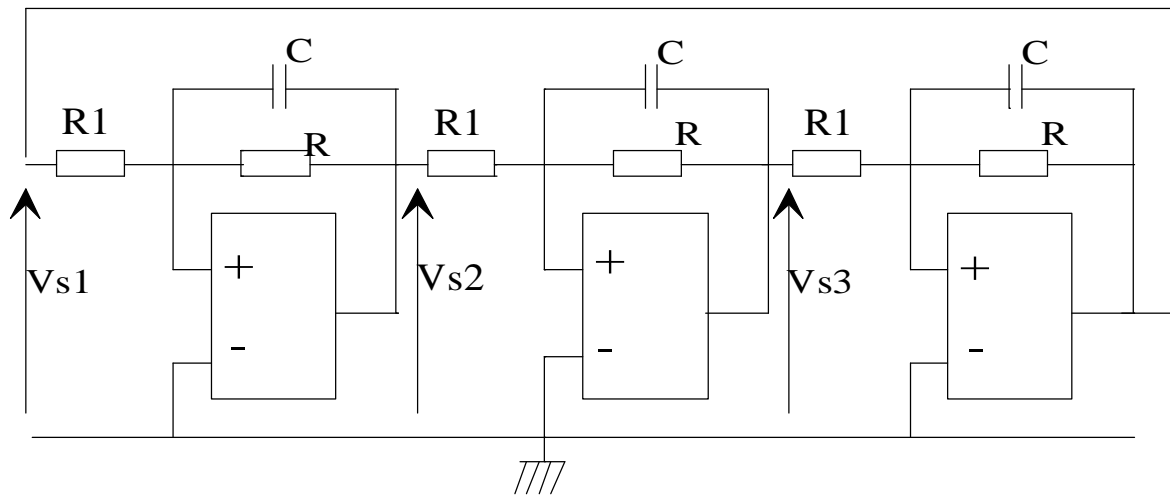
Sur un site créé par un professeur de lycée, M. Philippe Missirliu, (dont l'adresse est : <http://www.members.tripod.fr/tsetclichy/thyrum.html>), nous avons trouvé une autre solution qui permet la commande de l'onduleur triphasé grâce un circuit intégré (le SA828) associé à un microcontrôleur 8 bits. Ce site nous a fournit les informations relatives au SA828 et à la programmation du microcontrôleur ainsi que des schémas de montages. Sur ce même site, nous avons complété nos informations concernant le ST52. De plus, M. Missirliu mettant à disposition son adresse e-mail, nous l'avons contacté afin d'avoir plus d'informations au sujet de la programmation du ST52. M. Missirliu nous a répondu par e-mail en nous envoyant un fichier contenant le programme en C et l'adresse du site ST où nous nous sommes procuré le logiciel de programmation adéquat.

Pour les prix et disponibilités des composants, nous avons visité les sites des fournisseurs : Radiospares (<http://www.radiospares.fr>) et Farnell (<http://www.farnell.com>) et consulté leurs catalogues. Pour les drivers de la solution utilisant le microcontrôleur ST 52, nous avons trouvé leurs data sheet et leurs références complètes sur le site du fabricant IR (<http://www.irf.com>). De plus, n'ayant pas trouvé le prix d'un ST 52 dans les catalogues et les sites de fournisseurs, nous avons téléphoné à l'agence Arrow (distributeur de composants électroniques) de Rennes.

3. PARTIE COMMANDE : DIFFERENTES SOLUTIONS

3.1. Oscillateur sinusoïdal

La première solution proposée est basée sur l'utilisation d'un oscillateur sinusoïdal constitué de trois amplificateurs opérationnels. Le schéma de l'oscillateur est le suivant :



Dans ce montage, les trois tensions V_{s1} , V_{s2} et V_{s3} ont la même amplitude et sont déphasées de 120° . Elles forment donc une modélisation du réseau triphasé à fabriquer. Les composants doivent être dimensionnés pour que la fréquence des tensions soit de 50 Hz.

Mais ces résultats sont théoriques, ils ne sont vrais que si les conditions d'amplification et d'oscillation sont respectées. Le montage a été testé sur plaque d'essai, mais ne s'est pas révélé utilisable. Les valeurs des composants pour l'essai étaient :

$$R1 = 5 \text{ k}\Omega, R = 10 \text{ k}\Omega, C = 100 \text{ nF.}$$

L'étape suivante dans la conception, est la fabrication des signaux de commande des interrupteurs de puissance. Ceci sera fait selon le principe de la modulation de largeur d'impulsion (MLI). Pour cela, on compare sur un amplificateur opérationnel le signal obtenu en sortie de chaque étage de l'oscillateur avec un

signal triangulaire dont la fréquence est 500 fois supérieure. En effet, la fréquence de découpage doit être située en dehors du spectre de fréquence audible par l'homme, pour ne pas causer de nuisances. Si la fréquence du signal triangulaire est de $50 \times 500 = 25\,000$ Hz, la fréquence de découpage des interrupteurs sera elle aussi de 25 kHz et supérieure à 20 kHz, la limite d'audibilité chez l'homme.

Les signaux obtenus en sortie de chaque comparateur sont ensuite envoyés, via un circuit pilote de transistors IGBT (driver d'IGBT), sur la base des interrupteurs. Les tensions en sortie du montage seront alors de forme carrée, avec un rapport cyclique variable. Le moteur asynchrone qui constitue la charge de l'onduleur absorbera un courant de forme pseudo-sinusoidal, car la nature inductive du moteur lisse le courant.

Si le montage oscillateur était opérationnel, cette solution aurait été adoptée, car elle est peu chère.

L'inconvénient majeur de cette solution analogique est le fait d'avoir une commande qui n'est pas de type V/F constant, donc un moteur dont le couple n'est pas constant.

3.2. Circuit SA828

Les deux prochaines solutions sont basées sur l'utilisation de microcontrôleurs. La première utilise le circuit d'interface SA828, dont la documentation technique est fournie en Annexe.

Malheureusement, le circuit intégré SA828 de Mitel Semiconductor n'est plus fabriqué ni commercialisé. Ce composant était un générateur de signaux MLI triphasés, dédié à la commande d'onduleur. Sa mise en œuvre était très simple, mais nécessitait l'emploi d'un microcontrôleur.

Ce circuit permettait la commande de moteurs en rapport V/F constant, grâce à un tableau de correspondance. La consigne de vitesse était réglée par un potentiomètre relié à l'entrée d'un convertisseur analogique / numérique du

microcontrôleur. Celui-ci choisissait, grâce au tableau, la valeur de fréquence adaptée, et transmettait ces informations au SA828.

Le circuit SA828 étant optimisé pour les microcontrôleurs des familles Intel et Motorola, il aurait été piloté par le 87C752 Intel, car il possède un convertisseur analogique / numérique.

Le fonctionnement de l'onduleur triphasé à base de SA828 est décrit en détails sur le site Internet de monsieur Philippe Missirliu, professeur au Lycée Newton de Clichy.

3.3. Microcontrôleur seul

La dernière solution proposée est l'utilisation d'un microcontrôleur seul. Nous nous sommes intéressé aux microcontrôleurs de chez ST Microelectronics. Cette famille de microcontrôleurs est dédiée aux applications d'électronique de puissance. Les signaux logiques obtenus sur les sorties du microcontrôleur sont applicables sur les interrupteurs de puissance, via un driver d'IGBT.

Sur le site Internet de ST Microelectronics figurent des notes d'applications sur le pilotage de moteurs alternatifs triphasés à partir d'un réseau continu. La plus intéressante concerne le microcontrôleur ST92 141. Ce composant n'étant pas disponible dans des délais raisonnables (22 semaines), notre choix s'est porté sur le ST52 E420, en version EPROM, c'est à dire programmable électriquement et effaçable par UV. Ce microcontrôleur possède un convertisseur analogique / numérique (CAN) à huit voies multiplexées.

Les informations relatives au microcontrôleur ST52 E420 sont fournies en Annexe.

Cette solution présente plusieurs avantages. Premièrement, elle est aisément évolutive. En effet, il est facile de réaliser un asservissement de vitesse en ajoutant sur l'arbre du moteur une dynamo tachymétrique reliée à une voie du CAN du microcontrôleur.

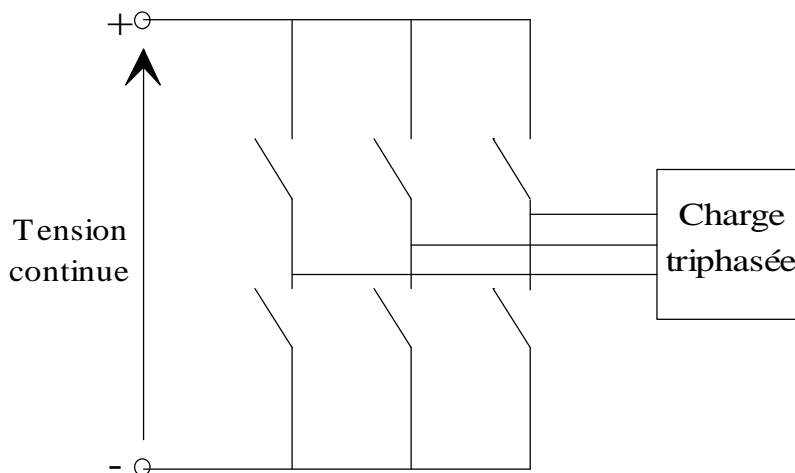
Deuxièmement, elle nécessite un nombre peu important de composants.

L'inconvénient majeur de cette solution est l'obligation d'acquérir les outils de programmation (logiciel, programmeur de microcontrôleur).

De plus, l'utilisation d'un microcontrôleur entraîne la nécessité d'avoir une tension continue de 5 volts.

4. PARTIE PUISSANCE : DIFFERENTES SOLUTIONS

La partie puissance de l'onduleur triphasé est composée d'un pont d'interrupteurs dont le schéma est le suivant :



Pour la partie puissance du projet, le rôle d'interrupteur sera joué par un transistor IGBT couplé à une diode. Afin de dimensionner les composants, il a été nécessaire de faire quelques calculs.

4.1. Dimensionnement des composants

Le premier calcul est celui du courant nominal délivré par l'onduleur. Considérons la charge est un moteur asynchrone triphasé 230/400V couplé en triangle, avec un facteur de puissance de 0,7 et une puissance utile de 3 kW.

Dans ce cas le courant nominal est :

$$I = \frac{P_u}{\sqrt{3} \times U \times \cos \phi} = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 230 \times 0,7} \approx 10,8 A$$

On prend comme facteur de dimensionnement 1,5 pour le courant, ce qui donne un courant minimal de 16,2 A. Ce courant est minimal car nous avons négligé les pertes de moteur ($\eta=100\%$).

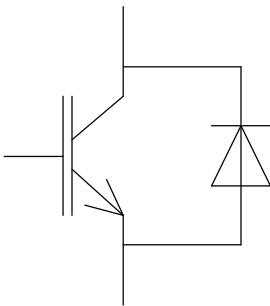
Pour la tension moyenne, le facteur de dimensionnement est de 2. Pour une tension de sortie de 230 V, le tension moyenne des composants doit être de $2 \times 230 = 460$ V.

La valeur de tension généralement rencontrée, sur les transistors ou sur les diodes, est de 600 V ; c'est cette valeur que nous choisirons.

Il ne nous reste plus qu'à choisir les composants de puissance. Pour ceci, trois possibilités ont été étudiées.

4.2. Composants « simples »

La première solution est l'utilisation de transistors seuls et de diodes seules. Les composants seront associés comme ceci :



Le transistor est de type IGBT.
La diode est une diode de commutation rapide.

Les caractéristiques des composants choisis sont dans le tableau suivant :

Transistor :

Fabricant : International Rectifier
Référence constructeur : IRG4BC30WS
Caractéristiques : $I_c \text{ max} = 23 \text{ A}$
 $V_{ce \text{ max}} = 600 \text{ V}$
 $P_d \text{ max} = 100 \text{ W}$
 $V_{ce \text{ sat}} = 2,1 \text{ V}$
Boîtier : D2 PAK

Distributeur : Radiospares
Page : 1856
Code commande : 357-2429
Prix unitaire : (Eur.) 2,95
Quantité : 6
Prix total : (Eur.) 17,70

Diode :

Fabricant : STMicroelectronics
Référence constructeur : STTA2006P
If = 20 A
Vdr = 600 V
Vf max = 1,75 V
trr max = 60 ns
Boîtier : SDO 93

Distributeur : Radiospares
Page : 1797
Code commande : 217 - 8571
Prix unitaire : (Eur.) 6,02
Quantité : 6
Prix total : (Eur.) 36,12

Prix du montage : 53,82 Eur
(353,04 F)

L'avantage d'un tel montage est le prix total des composants.

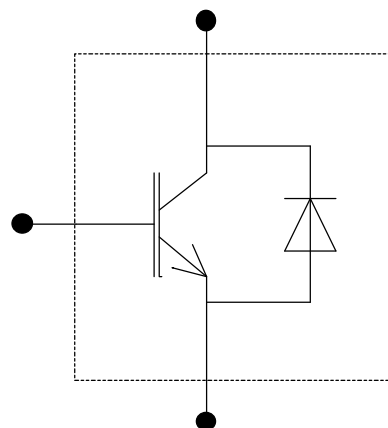
L'inconvénient de cette solution est le grand nombre de composants, douze au total. Il faut aussi tenir compte du refroidissement des composants lors de la conception du typon. Les composants à refroidir devront être de préférence alignés pour n'avoir qu'un dissipateur.

Le calcul du dissipateur sera effectué lors de la conception du typon, dans la deuxième partie du projet.

Pour limité le nombre de composants de puissance, il existe des modules transistor - diode intégrés.

4.3. Module transistor - diode.

Le module transistor - diode inclus dans un même boîtier un transistor IGBT et une diode de puissance. (Voir figure). Le module choisit est décrit ci dessous.



Fabricant : International Rectifier
Référence constructeur : IRG4PC30US
Caractéristiques : $I_c \text{ max} = 23 \text{ A}$
 $V_{ce \text{ max}} = 600 \text{ V}$
 $P_d \text{ max} = 100 \text{ W}$
 $V_{ce \text{ sat}} = 2,1 \text{ V}$
Boîtier : TO - 247(B)

Distributeur : Radiospares
Page : 1 – 1856
Code commande : 395 - 7858
Prix unitaire : (Eur.) 9,8

Quantité : 6
Prix total : (Eur.) 58,80
(F.) 385,70

L'avantage de ce type de composants sur la solution précédente est que le nombre de composants est réduit de moitié.

Le seul inconvénient est le prix qui est plus élevé. Cependant, la différence de prix, pour un seul prototype, est négligeable.

3.4. Module triphasé

La troisième et dernière solution est l'utilisation d'un module triphasé. Ce type de module inclut la totalité du pont onduleur, c'est à dire les six transistors et les six diodes.

Le module Toshiba MP6750, mentionné dans l'article de la revue Elektor fournit en Annexe n'étant pas disponible, nous avons choisit le module suivant :

Fabricant : International Rectifier
Référence constructeur : CPV364M4F
Caractéristiques : $I_c \text{ max}@25^\circ\text{C} = 27 \text{ A}$
 $I_c \text{ max}@100^\circ\text{C} = 15 \text{ A}$

 $V_{ce \text{ max}} = 600 \text{ V}$

Distributeur :
Page :
Code commande :
Prix unitaire : (\$) 65

Quantité : 1
Prix total : (Eur.) 65,00
 \approx (F.) 455,00

Le prix est donné à titre indicatif, le composant n'étant disponible qu'au Etats Unis.

Le principal avantage de ce module est qu'il s'agit d'un composant unique. L'inconvénient majeur de ce composant est son prix. De plus, il n'est pas disponible en France.

4.5. Pilotage des interrupteurs

Quel que soit le type d'interrupteur choisit, il faut inclure entre celui-ci et sa commande un circuit de pilotage. Ce circuit est composé de diodes, de résistances, de condensateurs et d'un driver de transistor IGBT.

Dans notre étude, ce composant sera un IR2122 de International Rectifier. Son Data sheet est fournit en Annexe. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

Fabriquant : International rectifier
Référence constructeur : IR2122
V_{ss} = 625 V
I_{a max} = 130 mA
t_r = 250 ns
t_f / ns = 250
Boîtier : DIL 8

Distributeur : Radiospares
Page : 1857
Code commande : 357 - 2902
Prix unitaire : (Eur.) 6,19
Quantité : 6
Prix total : (Eur.) 37,14

5. CHOIX DE LA SOLUTION A REALISER

La solution retenue est celle mettant en œuvre le microcontrôleur ST52E420, qui pilotera la partie puissance. Cette dernière sera composée de six modules transistor – diode intégrés. La référence de ce module est IRG4PC30US. Il est disponible chez Radiospares, ainsi que tous les autres composants de la réalisation, excepté le microcontrôleur ST52E420, qui est disponible chez Arrow Electronique.

Les six modules transistor – diode ont un coût de 30 francs plus cher que la solution avec des composants individuels. Sachant qu'il ne sera réalisé qu'un seul montage, cette différence de prix est négligeable, donc le choix de ce module est justifié par la simplicité de réalisation du montage.

Le point qui reste à approfondir est l'apprentissage du langage de programmation du microcontrôleur ST52. Nous consacrerons deux à trois séances pour programmer le microcontrôleur. De plus il nous reste à calculer les valeurs des composants permettant le bon fonctionnement du driver IGBT (diodes, condensateurs et résistances).

6. REPARTITION DU TEMPS DE TRAVAIL

La gestion des 7 séances précédentes est la suivante :

- les 5 premières séances ont été consacrées à la recherche d'informations sur internet, revues spécialisées, par contact téléphoniques et e-mails.
- Les deux dernières ont été consacrées à la rédaction du rapport de la pré-étude.

La gestion des 12 séances de réalisation du projet est la suivante :

- 3 séances pour la programmation du microcontrôleur
- 3 séances pour le test du circuit prototype et réalisation du typon
- 2 séances pour le gravage, soudage, test et débogage
- 1 séance pour la modification du circuit sous Orcad et conception du produit final
- 2 séances pour la rédaction du rapport du projet final

7. ANNEXES

7.1. liste des documentations de composants

La liste est classée selon les sources que l'on a utilisée :

- Sources internet :
 - www.members.tripod.fr/tsetclichy/thyrium.html
La famille du SA828 – Un générateur de signaux MLI triphasé
Un circuit spécialisé pour la commande des onduleurs triphasés : le SA828
Auteur du site : M. Philippe Missirliu

 - www.st.com
Data sheet sur le driver L6386 (fichier PDF)
Data sheet sur les microcontrôleurs ST52T420/E420 (fichier PDF)
Notes d'applications sur l'onduleur pour moteur triphasé commandé par le microcontrôleur ST52 et le ST92

 - www.irf.com
Data sheet sur le driver IR2122 (fichier PDF)

 - www.toshiba.fr
Data sheet sur le module integrant les six interrupteurs de puissances le MP6750 (fichier PDF)
Adresses, numéros de téléphone et fax des différents distributeurs Toshiba en France

 - www.radiospares.fr et www.farnell.com
Prix et références des composants utilisés pour notre réalisation

 - www.iut.univ-tours.fr/geii/lequeu
Base de données

- Articles de revues :
 - Philippe Missirliu – *Un circuit pour la commande des onduleurs triphasés : le SA828* – revue 3EI, décembre 1999
 - B. Yahya – *Convertisseur sinus triphasé* – revue Elektor, décembre 1994 et janvier 1995

CONCLUSION

La pré-étude a été une phase déterminante du projet. Elle nous a permis de trouver différentes solutions technologiques. Seule une a été retenue sur des critères de coût et de facilité d'intégration des composants dans le circuit. Cette solution combine un microcontrôleur ST 52E420 pilotant six interrupteurs réalisés par des modules transistor – diode IRG4PC30US.

Ces sept séances ont été l'occasion de mettre en œuvre tous les moyens à notre disposition pour la recherche d'informations techniques : internet, revues, cours et catalogues fournisseurs.

Les 12 prochaines séances nous permettront de réaliser dans un premier temps le prototype du montage puis après améliorations, le produit fini.